Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, Spring 2025, p. 13-29

The Effect of Different Types of Mulching and Different Levels of Water Stress on Yield and Yield Components of *Asparagus afficinalis*

M. Kermani[1*], Sh. Amirmoradi[1]

1- Department of Agriculture, Payame Noor university, Tehran, Iran
(*- Corresponding author's Email: Kermani.m@pnu.ac.ir)

Received: 21-06-2023
Revised: 27-08-2024
Accepted: 23-09-2024
Available Online: 23-09-2024

How to cite this article:
Kermani, M., & Amirmoradi, Sh. (2025). The effect of different types of mulching and different levels of water stress on yield and yield components of *Asparagus afficinalis*. *Journal of Horticultural Science*, *39*(1), 13-29. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2024.83056.1270

Introduction

Drought stress is one of the most important and most common limiting factors for plant growth in arid and semiarid regions. Asparagus (*Asparagus afficinalis*) is the most important species of asparagus and the fresh stem of this plant is harvested as its edible part and used as a vegetable and medicine. Asparagus is very rich in vitamins, flavonoids, saponins, and glutathione, which have anti-cancer properties, protect nerve cells, and protect the heart. Asparagus is a herbaceous, perennial plant growing to 100–150 cm tall, with two types of stems. One of the stems called spear, which is edible and has no leaves. The second, called fern which has needle leaves and is non-edible. This plant has thick and fleshy roots called rhizome (crown), which is resistant to winter cold and can remain in the ground for up to 25 years and give economic crops for up to 10-15 years. According to some studies, commercial cultivars of asparagus are sensitive to abiotic stresses such as drought stress. Drought stress during the growth of fern can reduce the production of stored carbohydrates in the crown roots and lead to a decrease in yield in the next season. Also, drought stress increases the fiber and reduces the quality of asparagus. Mulch is any material that is spread or laid over the surface of the soil and used for reasons such as saving water consumption by reducing evaporation from the soil surface, controlling soil erosion, adjusting soil temperature, controlling the growth of weeds, and improving the absorption of soil nutrients. Several researches have reported that the use of mulch is effective in increasing the resistance of plants to drought stress and also reducing the negative effects of drought stress on yield and its components.

Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design in three replications in the crop year of 2021-2022 in a two-year asparagus field near Mashhad city. The experimental factors were the types of mulch (barley straw, asparagus straw and plastic) and drought stress levels including irrigation after 50 mm (no stress), 70 mm (mild stress), 100 mm (moderate stress) and 150 mm (severe stress) evaporation from pan class A. Planting of transplants in the field was done manually on April 9 2021. Each experimental plot with dimensions of 4 x 10 meters included 4 rows with a distance of 100 cm and a distance of 50 cm between plants. Weeding was done manually. Fertilization was done according to the soil analysis and the recommendations of the soil science laboratory. The date of applying water stress was from April 4 to September 1 2022. The average of traits recorded in the first harvest (April 21) and the second harvest (September 6) were used for variance analysis. Data analysis was done using MSTAT-C software and mean comparisons were done using LSD method at 5% probability level. The graphs were drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results showed that fresh stem yield, number of harvestable stems, stem length, stem diameter, stem fresh and dry weight, and total leaf chlorophyll content decreased and leaf proline content increased significantly

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.83056.1270

at different levels of water stress. The content of leaf carotenoids also decreased significantly compared to the control only in severe water stress. The use of mulch in non-stressed conditions caused a significant increase in all studied traits except proline, so that asparagus straw with a 76% increase in stem yield was in the first place, and barley straw and plastic mulch were in the second and third places. Also, mulching reduced the negative effects of water stress on all traits, so that the non-use of mulch in mild, moderate and severe stress caused a 21%, 36% and 46% reduction in shoot yield, respectively, and the use of asparagus straw caused 10 %, 13% and 16% decrease in the yield of stems.

Conclusions

Water stress, as the most important factor of physiological limitation in plants, negatively affects growth, development and yield of plants. The use of plant residue mulches, especially asparagus straw, between the rows of asparagus cultivation can increase the yield in conditions without drought stress, and in drought stress conditions. the yield can be protected from the negative effects of stress to a large extent.

Keywords: Chlorophyll content, Evaporation pan class A, Fresh stem yield, Prolin

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۱، بهار ۱٤۰٤، ص. ۲۹-۱۳

اثر انواع خاک‌پوش و سطوح مختلف تنش آبی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه مارچوبه (*Asparagus afficinalis*)

منصوره کرمانی[1*]- شهرام امیرمرادی[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲

چکیده

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در یک مزرعه دوساله مارچوبه رقم ATLAS نزدیک شهرستان مشهد اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل انواع خاک‌پوش (کاه جو، کاه مارچوبه و پلاستیک) و سطوح تنش آبـی شـامل آبیاری پس از ۵۰ (بدون تنش)، ۷۰ (تنش خفیف)، ۱۰۰ (تنش متوسط) و ۱۵۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A بود. تاریخ اعمـال تنش‌های آبی از ۱۵ فروردین ماه تا ۱۰ شهریور ماه ۱۴۰۱ بود. نتایج نشان داد که عملکرد ساقه تر، تعداد ساقه قابل برداشت، طول ساقه، قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه و میزان کلروفیل در سطوح مختلف تنش آبی کاهش و میزان پرولین افزایش معنی‌داری داشت. محتوای کاروتنوئیدها نیز فقط در تنش آبی شدید کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرد. استفاده از خاک‌پوش در شرایط بدون تنش باعث افزایش معنی‌دار تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز پرولین شد، به¬طوری‌که کاه مارچوبه با ۷۶ درصد افزایش در عملکرد ساقه تر نسبت به شاهد در اولین رتبه قرار داشت و پس از آن کاه جو و پلاستیک در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند. همچنین خاک‌پوش باعث تقلیل اثرات منفی تنش آبی بر تمامی صفات شد، به‌طوری‌که عدم کاربرد خاک‌پـوش در شرایط تنش خفیف، متوسط و شدید به‌ترتیب باعث کاهش ۲۱، ۳۶ و ۴۶ درصدی در عملکرد ساقه تر شد. امّا کاربرد کاه مارچوبه به‌عنوان بهترین خاک-پوش در شرایط تنش خفیف، متوسط و شدید به‌ترتیب باعث کاهش ۱۰، ۱۳ و ۱۶ درصدی در عملکرد ساقه تر گردید.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تشتک تبخیر کلاس A، عملکرد ساقه تر، محتوای کلروفیل

مقدمه

مارچوبه با نام علمی *Asparagus afficinalis* گیاهی علفی، چندساله و دوپایه از خانواده مارچوبگان (Asparagaceae) است که بومی آسیا، اروپا و شمال آفریقا می‌باشد. این گونه از نظر اقتصادی مهم‌ترین جنس مارچوبه است و ساقه تازه این گیاه به‌عنوان بخش خوراکی آن برداشت شده و به‌صورت سبزی و دارو مصرف می‌شود (Mousavizade *et al*., 2021). این گیاه دارای ریشه‌های ضخیم و گوشتی به‌نام ریزوم[2] است که در مقابل سرمای زمستان مقاوم بوده و می‌تواند تا ۲۵ سال در زمین باقی بماند و تا ۱۰-۱۵ سال محصول اقتصادی بدهد. مارچوبه دارای دو نوع ساقه هوایی با ارتفاع ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر است. یک نوع آن ساقه‌های نیزه‌ای[3] است که مصرف خوراکی داشته و برگ ندارد. نوع دوم آن ساقه‌های شویدی[4] است که دارای برگ‌های سوزنی بوده و غیر خوراکی می‌باشد (Grubben & Denton, 2004).

مارچوبه از نظر ویتامین‌ها، فلاونوئیدها، ساپونین‌ها و گلوتاتیون بسیار غنی است (Negi *et al*., 2010) که خواص ضد سرطانی، محافظت از سلول‌های عصبی و محافظت از قلب دارند (Manach *et al*., 2004). این گیاه به‌عنوان یک گیاه دارویی مفید در طب آسیایی (مقوی، ملین، ضد سرفه و ضد سرطان) و اروپایی (برای درمان بیماری‌های التهابی مجاری ادراری) مطرح است (Naghdi Abadi *et al*., 2011).

۱- گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Kermani.m@pnu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2024.83056.1270

2- Crown
3- Spear
4- Fern

مالچ یا خاک‌پوش به‌معنی پوشش غیرزنده است که در کشاورزی به دلایلی از جمله صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق کاهش تبخیر از سطح خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تعدیل درجه حرارت خاک، مهار رشد علف‌های هرز، بهبود جذب عناصر غذایی خاک، تأثیر بر رشد کیفی گیاه و در نهایت، افزایش عملکرد محصول استفاده می‌شود (Kouchaki *et al.*, 2000). همچنین با استفاده از خاک‌پوش می‌توان کمبود مواد غذایی خاک را جبران و نیتروژن خاک را افزایش داد (Ghanbari *et al.*, 2018). از انواع خاک‌پوش‌های طبیعی (آلی) می‌توان به لاش، برگ، کاه، خاک اره و برگ یا پوست گیاهان اشاره کرد. از انواع خاک‌پوش‌های مصنوعی (غیر آلی) نیز می‌توان پشم شیشه، فویل فلزی، کاغذ، پلاستیک یا فیبر را نام برد.

یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات، افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی است و در این بین، تنش آبی از رایج‌ترین تنش محیطی است که روی رشد و عملکرد گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد (Kirigwi *et al.*, 2004). براساس برخی پژوهش‌ها، ارقام تجاری مارچوبه نسبت به تنش‌های غیر زنده مانند تنش خشکی حساس هستند (Drost & Wilcox-Lee, 1997). تنش خشکی در زمان رشد شاخ و برگ شویدی می‌تواند باعث کاهش تولید کربوهیدرات‌ها در ریشه ذخیره‌ای شده (Drost & Wilcox-Lee, 1997) و منجر به کاهش محصول در فصل بعدی شود (Drost & Wilcox-Lee 1997; Campi, *et al.*, 2019). همچنین تنش خشکی باعث افزایش فیبر و کاهش کیفیت مارچوبه نیز می‌شود (Wilson *et al.*, 1996). در بررسی اثر تنش خشکی و کاهش طول روز روی مارچوبه رقم GM و UC گزارش شد که تنش خشکی نسبت شاخساره به ریشه را در رقم GM افزایش داد. همچنین تنش خشکی باعث افزایش غلظت پرولین تاج در هر دو رقم و درصد ساکارز تاج و غلظت فروکتان کل در رقم UC شد (Short, 2021).

پژوهش‌های متعددی استفاده از خاک‌پوش را در افزایش مقاومت سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bocolor* L.) (Ghanbari *et al.*, 2021)، کنجد (*Sesamum indicum* L.) (Behzad Nejad *et al.*, 2018)، نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) (Shahriari *et al.*, 2013)، بادنجان (*Solanum melongena* L.) (Amiri Rodan *et al.*, 2020) و عدس (*Lens culinaris* Medick.) (Alami-Milani, *et al.*, 2013) به تنش خشکی و همچنین تقلیل اثرات منفی تنش خشکی روی عملکرد و اجزاء آن مؤثر گزارش کرده‌اند. در گندم (*Triticum aestivum* L.)، کاربرد خاک‌پوش سبز (برگ‌های *Jatropha curcas* L.) با محافظت از رطوبت خاک و وضعیت رطوبتی گیاه، باعث جلوگیری از کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ (LRWC)، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه و محتوای کلروفیل برگ تحت تنش آبی شد (Irshad *et al.*, 2021). در یک تحقیق گزارش شد که استعمال خاک‌پوش کاه و کمپوست بین ردیف‌های مارچوبه در کاهش شست‌وشوی خاک توسط رواناب مؤثر است (Niziolomski *et al.*, 2020). نی و همکاران (Nie *et al.*, 2007) نیز به تأثیر مثبت انواع خاک‌پوش بر رشد و عملکرد مارچوبه اشاره کرده‌اند. امّا تاکنون پژوهشی درباره تأثیر خاک‌پوش بر افزایش مقاومت به تنش خشکی در مارچوبه گزارش نشده است. لذا با توجه به فراگیر بودن مشکل کمبود آب در کشورمان به‌ویژه در ماه‌های تابستان، هدف از این تحقیق مقایسه انواع خاک‌پوش در افزایش عملکرد و همچنین افزایش مقاومت به تنش آبی در مارچوبه است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در یک مزرعه دوساله مارچوبه رقم ATLAS نزدیک شهرستان مشهد (ارتفاع از سطح دریا ۱۱۵۰ متر، ۵۹ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۶ ثانیه شمالی و ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه و ۷۳ ثانیه شرقی) انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش، فاکتور تنش آبی شامل آبیاری نرمال (پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) ، تنش خفیف (آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، تنش متوسط (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیرکلاس A) و تنش شدید (آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و فاکتور انواع خاک‌پوش شامل کاه جو، کاه مارچوبه و پلاستیک بود. میزان مصرف کاه جو و کاه مارچوبه، چهار کیلوگرم به‌ازای هر مترمربع بود. خاک‌پوش پلاستیکی نیز به رنگ سیاه و با ضخامت دو میلی‌متر انتخاب شد.

قبل از انجام آزمایش، نمونه‌برداری از خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. نتایج مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. کاشت نشاء به‌صورت دستی در تاریخ ۱۴۰۰/۱/۲۰ انجام شد، هرکرت آزمایشی با ابعاد ۴ در ۱۰ متر شامل چهار ردیف با فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله بوته ۵۰ سانتی‌متر بود. خاک‌پوش‌های پلاستیکی در سال اول قبل از کشت نشاء مارچوبه روی ردیف‌ها کشیده شد و سپس نشاها با سوراخ کردن پلاستیک در محل کشت، کاشته شدند. خاک‌پوش‌های دیگر، دو هفته پس از استقرار نشاها بر روی ردیف‌های کشت قرار داده شدند. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. کوددهی با توجه به تجزیه خاک و توصیه‌های آزمایشگاه خاک‌شناسی بدین صورت انجام شد: کودهای قبل از کاشت شامل سوپرفسفات تریپل به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به‌میزان ۱۰۰

کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و همراه با شخم در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک قرار گرفت. کود NPK 20-20-20 نیز در دو نوبت (هر نوبت به‌میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار) در آب آبیاری استفاده شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و با مدار پنج روزه انجام گردید. گیاهان در سال زراعی اول، رشد رویشی داشته و هیچ محصولی از مزرعه برداشت نشد. مارچوبه پس از گذراندن دوره استقرار در مزرعه به سرمای ۱۸- درجه سانتی گراد مقاومت دارد و بخش هوایی گیاه در پاییز و زمستان خزان نموده و در بهار سال بعد شروع به رشد می‌نماید. چنانچه یخبندان در محدوده سردتر از ۱۸- درجه سانتی گراد بتواند باعث یخ زدن خاک شود و ریزوم‌ها در زیر خاک یخ بزنند، گیاه از بین می‌رود. لذا با توجه به شرایط آب‌وهوایی مشهد، گیاه در فصل پاییز و زمستان به خواب می‌رود.

اعمال تیمارها و برداشت محصول در سال زراعی دوم صورت گرفت. تاریخ اعمال تنش‌های آبی از ۱۵ فروردین تا ۱۰ شهریور ماه ۱۴۰۱ بود. نمونه‌ها در تاریخ ۱۴۰۱/۲/۱ و ۱۴۰۱/۶/۱۵ و پس از حذف ردیف‌های حاشیه‌ای برداشت شدند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل عملکرد ساقه تر، تعداد ساقه، ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه، میزان کلروفیل کل، میزان پرولین و میزان کاروتنوئیدهای برگ بود. از میانگین صفات ثبت‌شده در چین اول و دوم برای آنالیزهای آماری در این پژوهش استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه
Table 1- Physical and chemical characteristics of studied field soil

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	شاخص واکنش pH	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)
رس ۲۶ درصد، سیلت ۴۳ درصد، شن ۳۱ درصد Clay 26%, silt 43%, Sand 31%	2.3	7.3	137	4.7	0.12	0.7

پرولین برگ به‌روش بتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) اندازه‌گیری شد. بدین صورت که ۰/۲ گرم از بافت برگ در چهار میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد سائیده شد و با کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف گردید. دو میلی‌لیتر از هموژن با دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین (۱/۲۵گرم نین‌هیدرین در ۵۰ میلی‌لیتر محلول شامل ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک خالص و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک شش مولار) و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال در یک لوله آزمایش مخلوط شدند و در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها به ظرف محتوی یخ منتقل شدند تا واکنش متوقف شود و پس از آن به دمای اتاق انتقال یافتند. به محتویات داخل لوله آزمایش، چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و به‌مدت ۳۰ ثانیه به‌شدت مخلوط گردید. پس از مدت ۲۰ دقیقه، جذب لایه رنگی بالایی (محتوی تولوئن و پرولین) در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتوفوتومتر قرائت شد و مقدار پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد طبق معادله ۱ یک تعیین شد.

میکرومول پرولین در گرم وزن تر= (۱)

$$\left(\frac{\mu g\ prolin}{ml} \times \frac{ml\ toloen}{115.5\ (\frac{\mu g}{\mu mol})}\right) / \frac{gr\ sample}{5}$$

برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها از روش آرنون (Arnon, 1967) به شرح زیر استفاده شد. مقدار ۰/۵ گرم از بافت تازه گیاهی با استفاده از نیتروژن مایع درون هاون چینی به‌خوبی له شد. سپس ۲۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه اضافه شد و با سرعت۶۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. عصاره جداشده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. در نهایت، مقداری از نمونه داخل بالن در کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد و مقدار جذب به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها قرائت گردید. سپس با استفاده از معادله‌های ۲ تا ۴ میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آمد.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A663 - 0.86 \times A645)\ V/100W \quad (۲)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A645 - 3.6 \times A663)\ V/100W \quad (۳)$$

$$\text{Carotenoides} = 100\ (A470) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104\ (\text{mg chl. b})/227 \quad (۴)$$

که در آن، V: حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

در نهایت، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ترسیم شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی تنش آبی و انواع مختلف خاک‌پوش بر تمام صفات اندازه‌گیری‌شده در سطح یک درصد معنی-دار بود. همچنین اثر متقابل این دو فاکتور بر تمام صفات اندازه-گیری‌شده به‌جز عملکرد ساقه تر معنی‌دار بود (جدول ۲).

عملکرد ساقه تر

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی و خاک‌پوش بر عملکرد ساقه تر در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش سطوح تنش خشکی اثر نزولی معنی‌داری بر عملکرد ساقه تر داشت، به¬طوری‌که بیشترین عملکرد ساقه تر (۱۴۴۱۰ تن در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال و کمترین عملکرد (۱۰۹۱۰ تن در هکتار) در تنش شدید ثبت شد(جدول ۳).

استفاده از خاک‌پوش در شرایط بدون تنش باعث افزایش معنی‌دار در عملکرد ساقه تر شد، به¬طوری‌که کاه مارچوبه با ۷۶ درصد افزایش در عملکرد ساقه تر نسبت به شاهد در اولین رتبه قرار داشت و پس از آن کاه جو و پلاستیک در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند (شکل ۱). همچنین خاک‌پوش باعث تقلیل اثرات کاهشی تنش آبی بر عملکرد شد، به¬طوری‌که عدم کاربرد خاک‌پوش در شرایط تنش خفیف، متوسط و شدید به‌ترتیب باعث کاهش ۲۱ درصد، ۳۶ درصد و ۴۶ درصد در عملکرد ساقه تر شد. امّا کاربرد کاه مارچوبه به‌عنوان بهترین خاک‌پوش در شرایط تنش خفیف، متوسط و شدید به‌ترتیب باعث کاهش ۱۰ درصد، ۱۳ درصد و ۱۶ درصد در عملکرد ساقه تر گردید. نتایج اثر متقابل سطوح مختلف تنش آبی و انواع خاک‌پوش بر عملکرد ساقه تر معنی‌دار نشد (جدول ۲). این نتیجه نشان داد که با وجود استفاده از خاک‌پوش‌های مختلف، روند واکنش عملکرد ساقه تر به افزایش سطوح تنش آبی کم‌وبیش مشابه بود.

پژوهشگران با بررسی اثرات تنش آبی بر مارچوبه گزارش کردند که رشد شاخساره و عملکرد تحت تأثیر تنش خشکی کاهش معنی-داری نشان داد (Zinkernagel & Kahlen, 2017). محققان علت کاهش رشد و عملکرد گیاه در زمان تنش آبی را به بسته شدن روزنه-ها و کاهش انتقال دی اکسید کربن و در نتیجه، کاهش کربوکسیلاسیون نوری و همچنین دلایل غیر روزنه‌ای مانند اختلال در واکنش‌های فسفوریلاسیون نوری نسبت داده‌اند (Piri *et al.*, 2016).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر خاک‌پوش و سطوح مختلف تنش آبی بر برخی صفات کمّی و کیفی مارچوبه

Table 2- ANOVA for the effect of mulch and different levels of water stress on some quantitative and qualitative traits of asparagus

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		عملکرد ساقه تر Fresh stem yield	تعداد ساقه قابل برداشت Harvestable number of stems	طول ساقه Stem length	قطر ساقه Stem diameter	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	کلروفیل Chlorophyl content	پرولین Prolin content	کاروتنوئید Crotenoid content
بلوک Block	2	841365.7^{ns}	6.396**	37.52**	13.27**	4.521**	3.083**	7.646**	0.028**	0.001**
خاک‌پوش Mulch (A)	3	176872139 **	176.5**	68.24**	91.63**	66.28**	73.39**	477.94**	8.724**	0.025**
تنش آبی Water stress (B)	3	27251641. 5**	21.94**	48.68**	20.46**	14.61**	8.278**	66.50**	0.554**	0.004**
A×B	9	1359452.3^{ns}	2.407*	7.354**	3.836**	2.185**	0.815*	10.74**	0.169**	0.004**
خطای آزمایشی Error	30	738544.5	1.063	1.299	0.738	0.743	0.439	1.379	0.031	0.001
ضریب تغییرات CV (%)		6.90	6.03	5.26	5.88	4.29	6.68	1.32	3.56	5.13

*، ** و ^{ns}: به‌ترتیب نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

* , ** and ^{ns}: significant at 5% and 1% of probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- اثر سطوح مختلف تنش آبی بر صفات مورد بررسی در مارچوبه

Table 3- The effect of different levels of water stress on the measured traits in asparagus

تنش آبی Water stress	عملکرد Yield (ton.ha^{-1})	تعداد ساقه قابل برداشت Harvestable number of stems	طول ساقه Stem length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	کلروفیل Chlorophyl Content	پرولین Prolin content	کاروتنوئید Crotenoid content
شاهد Control	14410 ^{a*}	18.92^{a}	24.25^{a}	16.33^{a}	21.25^{a}	11.00^{a}	92.08^{a}	4.658^{c}	0.619^{a}
خفیف Mild	12750^{b}	17.17^{b}	22.00^{b}	14.75^{b}	20.67^{a}	10.08^{b}	89.83^{b}	4.908^{b}	0.606^{a}
متوسط Moderate	11730^{c}	16.50^{bc}	20.83^{c}	14.08^{b}	19.67^{b}	9.50^{c}	88.17^{c}	4.892^{b}	0.594^{ab}
شدید Severe	10910^{d}	15.75^{c}	19.50^{d}	13.25^{c}	18.75^{c}	9.08^{c}	86.58^{d}	5.183^{a}	0.578^{b}

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

سطوح تنش آبی شامل آبیاری پس از ۵۰ (بدون تنش)، ۷۰ (تنش خفیف)، ۱۰۰ (تنش متوسط) و ۱۵۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A است.

* Means with similar letters in each trait are not significantly different ($P \leq 0.05$) based on LSD test

Dought stress levels includes irrigation after 50 mm (control), 70 mm (D1), 100 mm (D2) and 150 (D3) mm evaporation from pan class A.

جدول ٤- اثر انواع مختلف خاک‌پوش بر صفات مورد بررسی در مارچوبه

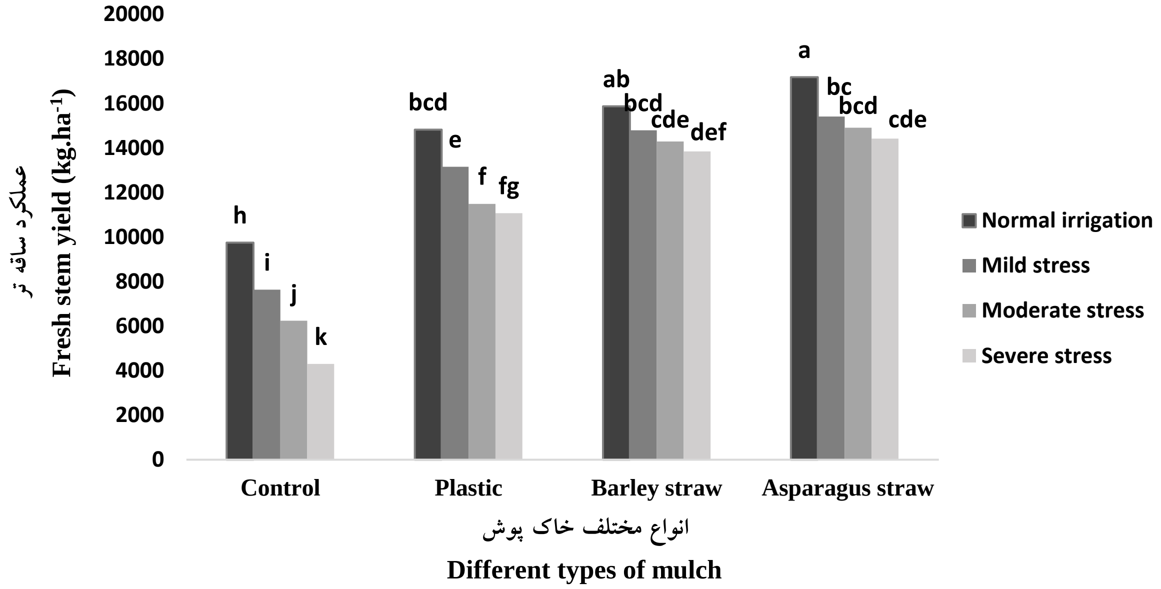
Table 4- The effect of different types of mulch on measured traits in asparagus

انواع مختلف خاک‌پوش Different types of mulch	عملکرد Yield (ton.ha^{-1})	تعداد ساقه قابل برداشت Harvestable number of stems (per plant)	طول ساقه Stem length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g)	کلروفیل Chlorophyl content	پرولین Prolin content	کاروتنوئید Crotenoid content
شاهد Control	6979 ^{d*}	11.58^{d}	18.17^{c}	11.25^{d}	16.75^{c}	6.250^{c}	81.08^{c}	6.175^{a}	0.541^{c}
پلاستیک Plastic	12640^{c}	17.58^{c}	22.33^{b}	13.50^{c}	20.17^{b}	10.67^{b}	89.33^{b}	4.667^{b}	0.609^{b}
کاه جو Barley straw	14700^{b}	18.83^{b}	23.58^{a}	17.33^{a}	22.00^{a}	11.58^{a}	96.50^{a}	4.375^{c}	0.651^{a}
کاه مارچوبه Asparagus straw	15480^{a}	20.33^{a}	22.50^{b}	16.33^{b}	21.42^{a}	11.17^{ab}	89.75^{b}	4.425^{c}	0.597^{b}

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with similar letters in each trait are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

براساس نتایج یک تحقیق، با استفاده از پلی اتیلن در بین ردیف-های مارچوبه، میانگین عملکرد از ۵/۲۷ تن در هکتار به ۶/۲۵ تن در هکتار رسید (Jakse & Kacjan Marsic, 2005). با توجه به تفاوت خاک‌پوش‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر و همچنین گزارش‌های محققان، خاک‌پوش‌های حاصل از بقایای گیاهی (خاک‌پوش‌های آلی) با افزایش فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم و دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا نسبت به خاک‌پوش‌های غیر آلی، مواد غذایی قابل جذب بیشتری را برای رشد گیاه فراهم می‌کنند و از طریق حفظ تعادل رطوبتی گیاه و کاهش مقاومت مزوفیلی و روزنه‌ای باعث بهبود فتوسنتز و عملکرد می‌شوند (Blaise *et al*., 2005). در مقابل، خاک‌پوش پلاستیکی به‌دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی پایین و ناتوانی در تأمین عناصر غذایی مطلوب برای افزایش رشدی گیاه، فقط از طریق تولید سایه، افزایش رطوبت و کاهش دمای خاک، می‌تواند در مقایسه با شاهد باعث بهبود شرایط رشدی گیاه و همچنین جلوگیری از رشد علف‌های هرز شود (Hamzehei *et al*., 2017).



شکل ۱- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی × انواع خاک‌پوش بر عملکرد ساقه تر مارچوبه

Figure 1- The interaction of different levels of drought stress and types of mulch on the fresh stem yield of asparagus (LSD, *p* ⩽*0.05*)

تعداد ساقه قابل برداشت

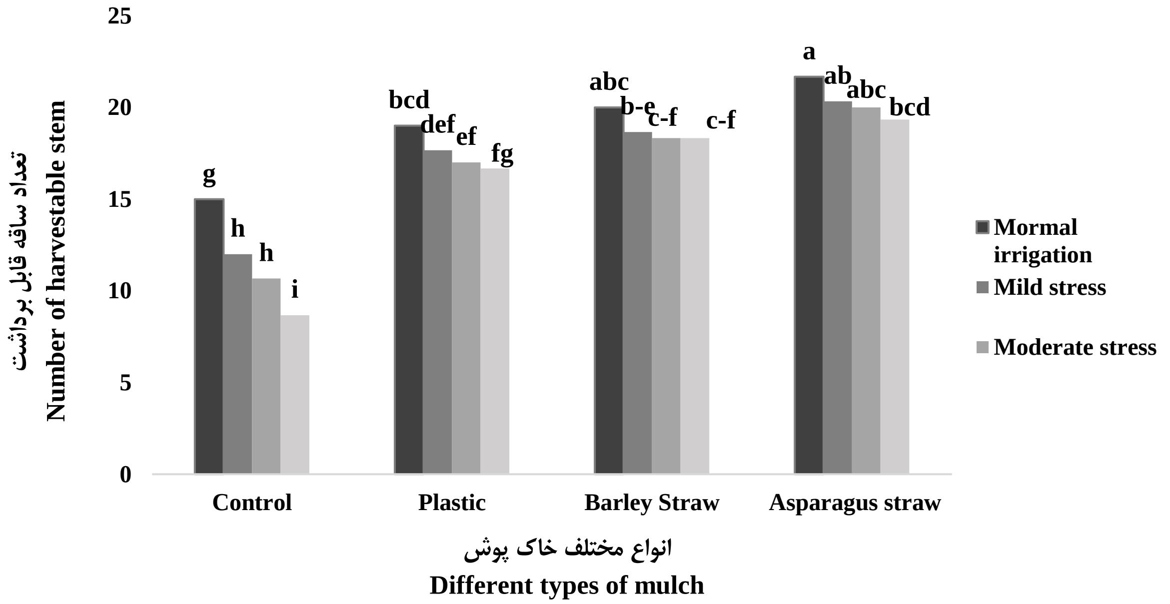
براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش آبی و انواع مختلف خاک‌پوش بر تعداد ساقه قابل برداشت در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی، تعداد ساقه برداشت در بوته کاهش معنی‌داری نشان داد، به¬طوری‌که بیشترین تعداد ساقه برداشت (با میانگین ۱۸/۹۲ ساقه در بوته) در شرایط آبیاری نرمال و کمترین آن (با میانگین ۱۵/۷۵ ساقه در بوته) در تنش شدید ثبت گردید (جدول ۳).

کاربرد تمامی خاک‌پوش‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر باعث افزایش معنی‌دار تعداد ساقه قابل برداشت در مقایسه با شاهد گردید. در این میان، کاه مارچوبه (با میانگین ۲۰/۳۳ ساقه در بوته) بیشترین تأثیر را در افزایش این صفت و پلاستیک (با میانگین ۱۷/۵۸ ساقه در بوته) کمترین تأثیر را در افزایش این صفت داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح مختلف تنش آبی و خاک‌پوش‌های مختلف نشان داد که کاربرد کاه مارچوبه در شرایط بدون تنش و نیز همه سطوح تنش آبی باعث بیشترین تعداد ساقه در بوته شد. به عبارت دیگر، با استفاده از کاه مارچوبه، بالاترین تعداد ساقه قابل برداشت (میانگین ۲۱/۶۷ ساقه در بوته) در شرایط آبیاری نرمال و نیز عدم کاهش معنی‌دار این صفت در تنش آبی خفیف (میانگین ۲۰/۳۳ ساقه در بوته) و تنش آبی متوسط (میانگین ۲۰ ساقه در بوته) ثبت شد. همچنین کاربرد همه انواع خاک‌پوش باعث تقلیل اثرات تنش خشکی بر این صفت گردید (شکل ۲).

محققان به تأثیر منفی تنش آبی بر تعداد ساقه مارچوبه شامل ساقه‌های نیزه‌ای و ساقه‌های دارای برگ‌های شویدی اشاره کرده‌اند (Drost & Wilcox-Lee, 1997) که با نتایج پژوهش حاضر در مورد ساقه‌های نیزه‌ای همخوانی دارد. از طرف دیگر، نتایج مطالعه

حاضر با نتایج یک تحقیق مبنی بر عدم تغییر معنی‌دار تعداد ساقه مارچوبه در اثر استفاده از خاک‌پوش پلی اتیلن مطابقت ندارد (Jakse & Kacjan Marsic, 2005).

محققان اظهار داشتند که استفاده از خاک‌پوش، دمای خاک را افزایش داده و از نوسانات دما در عمق ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متری خاک جلوگیری می‌کند. این امر موجب تسریع رشد ریشه شده و در نتیجه، کارآیی گیاه برای استفاده از مواد غذایی خاک بیشتر می‌شود و در شرایط تنش رطوبتی نیز از تحمل بالاتری برخوردار خواهد بود (Lamont & Bartol, 2004). همچنین استفاده از خاک‌پوش از طریق افزایش فعالیت ریزجانداران خاک به‌طور غیر مستقیم نیز بر رشد گیاه تأثیر مثبت می‌گذارد (Chen *et al*., 1998). پژوهشگران با توجه به خطرات زیست‌محیطی استفاده از پلاستیک‌های پلی اتیلن در کشاورزی، خاک‌پوش کلش را به‌عنوان بهترین نوع خاک‌پوش معرفی کردند (Hamzehei *et al*., 2017).



شکل ۲- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی × انواع خاک‌پوش بر تعداد ساقه قابل برداشت مارچوبه

Figure 2- The interaction effect of drought stress ×types of mulch on the number of harvestable stem of asparagus (LSD, $p\leq 0.05$)

طول و قطر ساقه

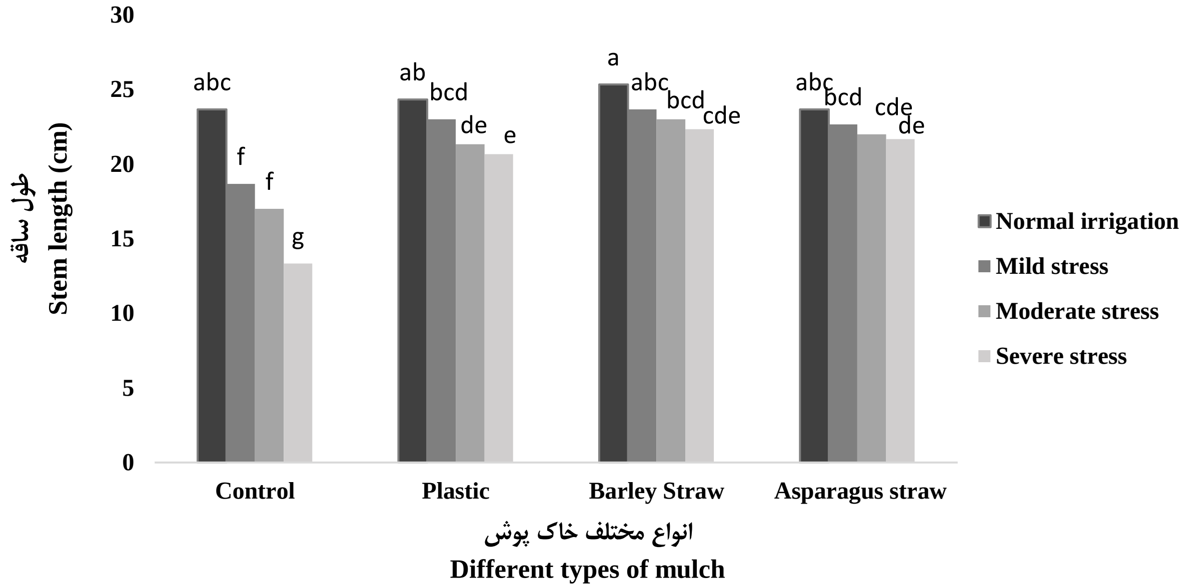
براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تنش آبی و خاک‌پوش‌های مختلف و اثر متقابل این دو فاکتور بر طول و قطر ساقه مارچوبه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی، طول و قطر ساقه مارچوبه کاهش معنی‌داری داشت، به¬طوری‌که در شرایط آبیاری نرمال بیشترین طول (۲۴/۲۵ سانتی‌متر) و قطر ساقه (۱۶/۳۳ میلی‌متر) و در شرایط تنش شدید کمترین طول (۱۹/۵۰ سانتی‌متر) و قطر ساقه (۱۳/۲۵ میلی‌متر) به ثبت رسید (جدول ۳). استفاده از خاک‌پوش اثر افزایشی معنی‌داری بر صفت طول و قطر ساقه داشت، که در این میان، کاه جو، کاه مارچوبه و پلاستیک در رتبه‌های اول تا سوم قرار داشتند (جدول ۴).

نتایج اثر متقابل تنش آبی و خاک‌پوش‌های مختلف بر طول ساقه نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری بین استفاده و عدم استفاده از انواع خاک‌پوش وجود نداشت. امّا استفاده از خاک‌پوش در شرایط تنش آبی، باعث تعدیل اثرات کاهشی تنش گردید، به¬طوری‌که تنش خفیف، متوسط و شدید در شرایط عدم کاربرد خاک‌پوش به‌ترتیب باعث کاهش ۵، ۶/۶۷ و ۱۰/۳۴ سانتی‌متر در طول ساقه شد، امّا با کاربرد کاه جو در شرایط تنش خفیف، متوسط و شدید به‌ترتیب کاهش ۱/۶۶ ، ۲/۳۳ و ۳ سانتی‌متری در طول ساقه مشاهده گردید (شکل ۳).

نتایج اثر متقابل تنش آبی و خاک‌پوش‌های مختلف بر قطر ساقه نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، فقط کاه جو و کاه مارچوبه توانستند باعث افزایش معنی‌دار قطر ساقه در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد خاک‌پوش) شوند، امّا در شرایط تنش آبی، همه انواع خاک‌پوش توانستند اثرات کاهشی تنش بر قطر ساقه را تقلیل بدهند. به عبارت دیگر، تنش خفیف، متوسط و شدید در شرایط عدم کاربرد خاک‌پوش به‌ترتیب باعث کاهش معنی‌دار ۳/۳۳، ۴/۶۷ و ۷ میلی‌متری در قطر ساقه شد، امّا با کاربرد کاه جو در شرایط تنش خفیف و متوسط، قطر

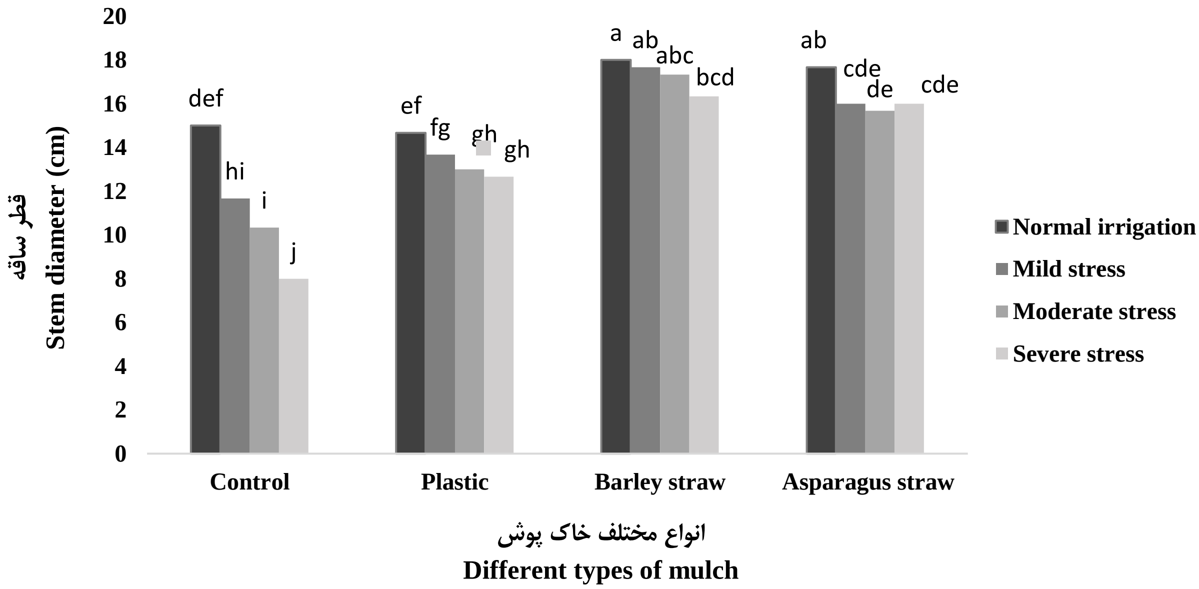
ساقه تغییر معنی‌داری نکرد و در شرایط تنش شدید آبی فقط ۱/۶۷ میلی‌متر کاهش در قطر ساقه ایجاد شد (شکل ۴).

همراستا با نتایج پژوهش حاضر، برخی محققان به اثر کاهشی تنش آبی بر ارتفاع ساقه مارچوبه اشاره کرده‌اند (Drost & Wilcox-Lee, 1997). با کاهش مقادیر آب در گیاه و در نتیجه، کاهش تورژسانس سلولی، سرعت تقسیم سلولی، حجم سلول‌های گیاهی، فرآیند ساخت دیواره سلولی و در نهایت، اندازه کلی اندام‌های گیاه از جمله ارتفاع و سطح برگ کاهش می‌یابد (Earl & Davis, 2003). نتایج مطالعه حاضر در مورد پلاستیک، با گزارش برخی محققان مبنی بر عدم تغییر معنی‌دار قطر ساقه مارچوبه در اثر استفاده از خاک‌پوش پلی اتیلن مطابقت دارد (Jakse & Kacjan Marsic, 2005).



شکل ۳- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی × انواع خاک‌پوش بر طول ساقه در مارچوبه

Figure 3- The interaction effect of f drought stress ×types of mulch on the stem length of asparagus (LSD, $p\leq 0.05$)



شکل ٤- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی × انواع خاک‌پوش بر قطر ساقه در مارچوبه

Figure 4- The interaction effect of drought stress ×types of mulch on the stem diameter of asparagus (LSD, $p\leq 0.05$)

وزن تر و خشک ساقه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی و خاک‌پوش بر وزن تر و خشک ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش آبی و خاک‌پوش بر وزن تر ساقه در سطح یک درصد و برای وزن خشک ساقه در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). افزایش سطوح تنش خشکی، اثر نزولی معنی‌داری بر وزن تر و خشک ساقه داشت، به¬طوری‌که بیشترین مقدار وزن تر و خشک ساقه (به‌ترتیب با میانگین ۲۱/۲۵ و ۱۱ گرم به‌ازای هر بوته) در شرایط آبیاری نرمال و کمترین مقدار این دو صفت (به‌ترتیب با میانگین ۱۸/۷۵ و ۹ گرم به‌ازای هر بوته) در تنش شدید ثبت شد (جدول ۳).

کاربرد تمامی خاک‌پوش‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر باعث افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک ساقه در مقایسه با شاهد گردید. در این میان، کاه جو از نظر افزایش این دو صفت در رتبه نخست قرار داشت که البته با کاه مارچوبه تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح مختلف تنش آبی و خاک‌پوش‌های مختلف بر وزن تر ساقه نشان داد که استفاده از کاه مارچوبه و کاه جو باعث جلوگیری از کاهش معنی‌دار وزن تر ساقه در تمامی سطوح تنش آبی شد (شکل ۵).

نتایج اثر متقابل تنش آبی و خاک‌پوش‌های مختلف بر وزن خشک ساقه نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، کاه مارچوبه، کاه جو و پلاستیک به‌ترتیب توانستند باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد خاک‌پوش) شوند. در شرایط تنش آبی نیز همه انواع خاک‌پوش توانستند اثرات کاهشی تنش بر وزن خشک ساقه را تقلیل بدهند. به عبارت دیگر، تنش خفیف، متوسط و شدید در شرایط عدم کاربرد خاک‌پوش به‌ترتیب باعث کاهش معنی‌دار ۱۹/۹ درصد، ۲۹ درصد و ۴۱/۶ درصد در وزن خشک ساقه شد، امّا با کاربرد کاه مارچوبه در شرایط تنش خفیف، متوسط و شدید، وزن خشک ساقه به‌ترتیب ۱۳ درصد، ۱۵/۸ درصد و ۱۸/۴ درصد کاهش یافت (شکل ۶).

تنش خشکی از طریق کاهش محتوای کلروفیل و کربوهیدرات-های مارچوبه می‌تواند باعث کاهش کمیت و کیفیت ساقه‌های خوراکی مارچوبه شود (Pressman *et al*., 1989). نتایج تحقیق حاضر با نتایج یک تحقیق دیگر مبنی بر کاهش معنی‌دار رشد شاخساره مارچوبه در اثر تنش خشکی هم‌خوانی دارد (Zinkernagel & Kahlen, 2017). با افزایش شدت تنش خشکی، فتوسنتز خالص کاهش و تنفس گیاه افزایش می‌یابد (Rafiee Manesh *et al*., 2010). در نتیجه، استفاده از آسیمیلات‌های فتوسنتزی برای افزایش رشد رویشی کاهش می‌یابد (Earl & Davis, 2003).

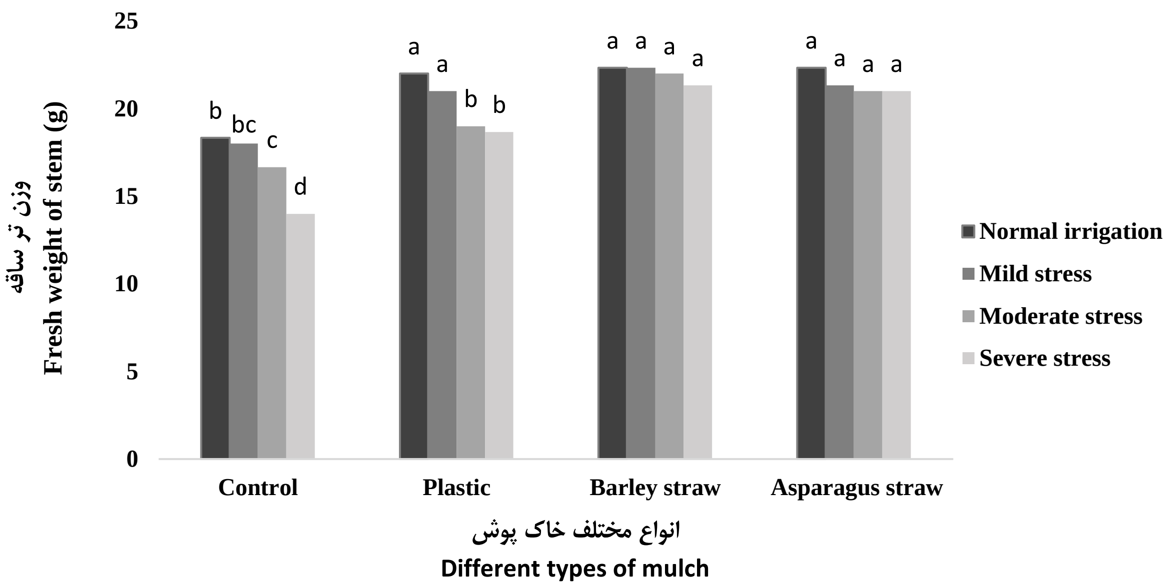
براساس گزارش محققان با استفاده از پلی اتیلن در بین ردیف-های مارچوبه، میانگین وزن تر ساقه از ۳۸/۱۵ گرم به ۴۰/۸۸ گرم افزایش یافت (Jakse & Kacjan Marsic, 2005). خاک‌پوش‌های حاصل از بقایای گیاهی از طریق کاهش تبخیر از سطح خاک و ایجاد خرد اقلیم مرطوب در اطراف گیاه باعث افزایش ذخیره آب خاک و افزایش شاخص‌های رشدی گیاه می‌شوند (Goel *et al*., 2019). براساس نظر وو و همکاران (Wu *et al*., 2018) خاک‌پوش‌های گیاهی با فراهمی عناصر غذایی پرمصرف برای گیاه از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم باعث بهبود شرایط رشدی گیاه می‌شوند. همچنین یکی دیگر از دلایل برتری خاک‌پوش‌های گیاهی نسبت به خاک‌پوش پلی اتیلن، تبادل بیشتر اکسیژن و دی اکسید کربن بین فضای بیرون و داخل خاک است (Steinmetz *et al*., 2016; Shahzad *et al*., 2019). با توجه به خصوصیات گیاه مارچوبه، رشد مناسب ریشه در اثر تنفس کافی و جذب مواد غذایی، منجر به تولید ساقه‌های بیشتر می-شود (Grubben & Denton, 2004) و لذا در مطالعه حاضر، تأثیر بیشتر خاک‌پوش‌های گیاهی در مقایسه با خاک‌پوش پلاستیکی روی شاخص‌های رشدی گیاه را می‌توان به این دلایل نسبت داد.

میزان کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر تنش آبی، خاک‌پوش‌های مختلف و اثر متقابل این دو فاکتور بر میزان کلروفیل مارچوبه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش شدت تنش خشکی، میزان کلروفیل برگ کاهش معنی‌داری نشان داد، به¬طوری‌که بیشترین محتوای کلروفیل (با میانگین ۹۲/۰۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک) در شرایط آبیاری نرمال و کمترین آن (با میانگین ۸۶/۵۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک) در تنش شدید ثبت گردید (جدول ۳).

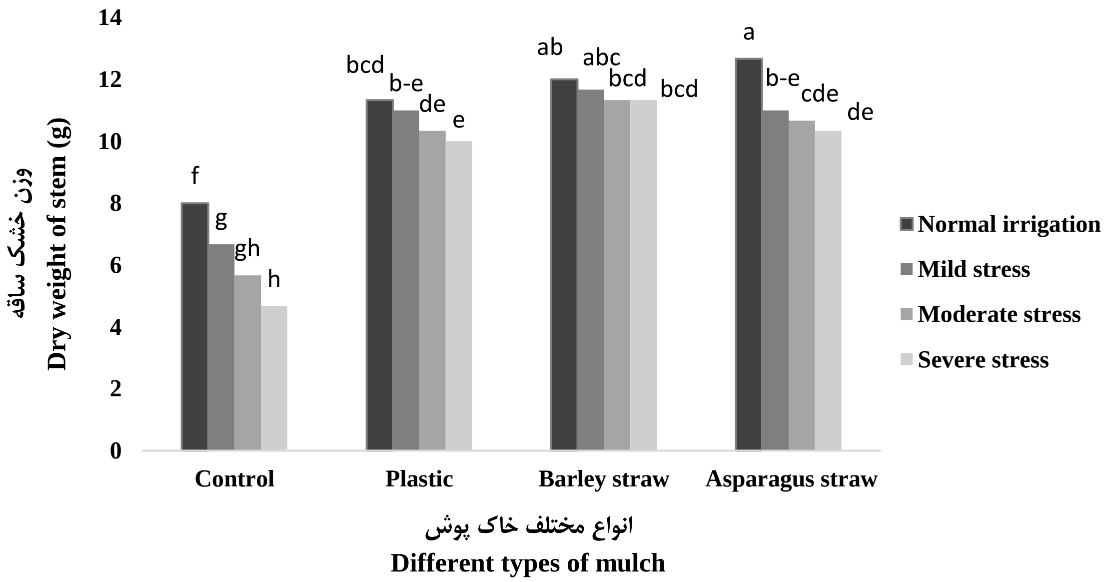
استفاده از خاک‌پوش، اثر افزایشی معنی‌داری بر میزان کلروفیل برگ داشت که در این میان، کاه جو (با ۱۹ درصد افزایش)، کاه مارچوبه (با ۱۰/۷ درصد افزایش) و پلاستیک (با ۱۰/۲ درصد افزایش) در رتبه‌های اول تا سوم قرار داشتند که البته کاه مارچوبه و پلاستیک از این نظر تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۴).

بررسی اثر متقابل تنش آبی و خاک‌پوش‌های مختلف نشان داد که همه انواع خاک‌پوش باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل در شرایط آبیاری نرمال شدند. در تیمار کاه جو، محتوای کلروفیل در همه سطوح تنش آبی، کاهش معنی‌داری نسبت به شرایط آبیاری نرمال پیدا نکرد. سایر خاک‌پوش‌ها نیز باعث تقلیل اثرات کاهشی تنش آبی بر محتوای کلروفیل شدند (شکل ۷).



شکل ۵- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی × انواع خاک‌پوش بر وزن تر ساقه در مارچوبه

Figure 5- The interaction effect of drought stress ×types of mulch on the stem fresh weight of asparagus (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ٦- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی × انواع خاک‌پوش بر وزن خشک ساقه در مارچوبه

Figure 6- The interaction effect of drought stress ×types of mulch on the stem dry weight of asparagus (LSD, $p \leq 0.05$)

براساس گزارش پرسمن و همکاران (Pressman *et al*., 1989)، تنش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل در مارچوبه شد و با افزایش زمان تنش خشکی، روند نزولی معنی‌داری در محتوای کلروفیل مشاهده شد. در شرایط تنش آبی، رنگیزه‌ها و پلاستیدها در اغلب گیاهان آسیب می‌بینند و با کاهش ضخامت تیلاکوئیدها و کاهش کلروفیل، میزان فتوسنتز کم می‌شود (Follows & Boyer, 1996). همچنین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کلروفیلاز و ترکیبات فنلی می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی باشد (Ashraf *et al*., 1994). لذا همان‌طور که در تحقیق حاضر مشاهده شد، حفظ رطوبت خاک از طریق استفاده از خاک‌پوش می‌تواند باعث جلوگیری از کاهش کلروفیل و حفظ فتوسنتز و رشد گیاه شود. نتایج این تحقیق مبنی بر تعدیل اثرات کاهشی تنش خشکی روی محتوای کلروفیل در اثر استفاده از خاک-

پوش، با یافته‌های بهزاد نژاد و همکاران (Behzad Nejad *et al.*, 2018) در مورد کنجد مطابقت داشت.

میزان پرولین

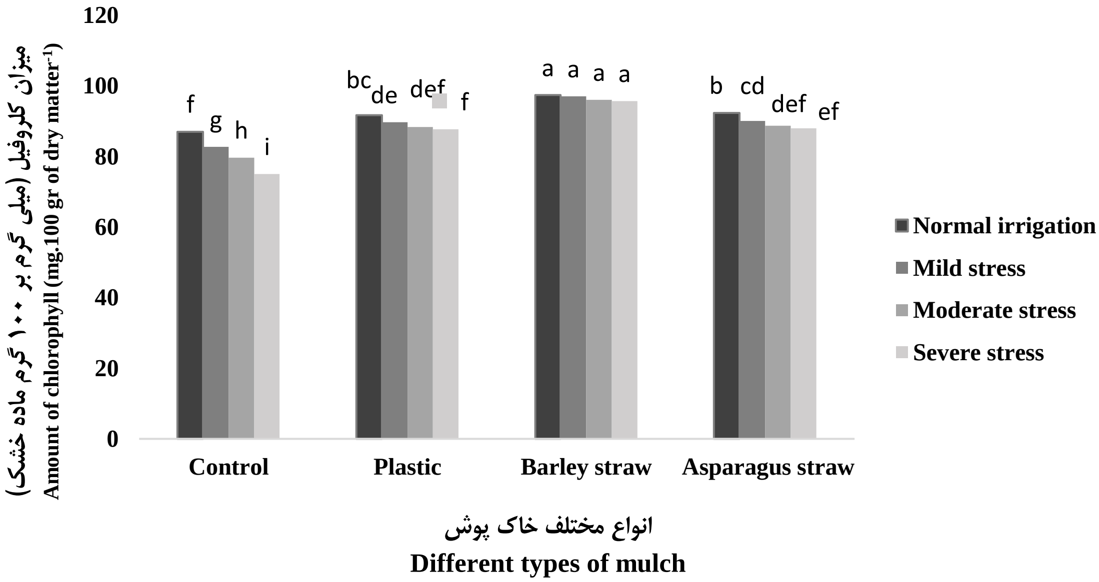
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی، خاک‌پوش و اثر متقابل این دو فاکتور بر میزان پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار میزان پرولین نسبت به شرایط بدون تنش شد. بیشترین میزان پرولین (۵/۱۸ میکرومول بر گرم وزن تر) در شرایط تنش شدید و کمترین میزان پرولین (۴/۶۵ میکرومول بر گرم وزن تر) در شرایط آبیاری نرمال ثبت شد و بین میزان پرولین در تنش خفیف و متوسط تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). کاربرد تمامی خاک‌پوش‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر باعث کاهش معنی‌دار میزان پرولین در مقایسه با شاهد گردید. در این میان، کاه جو، کاه مارچوبه و پلاستیک در رتبه‌های اول تا سوم قرار داشتند که البته کاه جو و کاه مارچوبه از این نظر تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۴).

نتایج اثر متقابل تنش آبی و خاک‌پوش نشان داد که کاه جو و کاه مارچوبه باعث کاهش معنی‌دار میزان پرولین در شرایط آبیاری نرمال و نیز جلوگیری از افزایش معنی‌دار پرولین در تمامی سطوح تنش (در مقایسه با شرایط بدون تنش) شده‌اند (شکل ۸).

در اکثر گیاهان، میزان پرولین تحت تنش‌های زیستی و غیر زیستی افزایش می‌یابد (Tan *et al.*, 2008). از جمله نقش‌های فیزیولوژیکی متعدد پرولین می‌توان به نقش آن به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی و محافظت کننده از آنزیم‌های سیتوپلاسمی و ساختمان غشاء اشاره کرد (Levitt, 1980). تنش خشکی باعث کاهش پتانسیل آب خاک می‌شود، لذا گیاه با تجمع ترکیبات اسمزی مانند پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش داده و به عبارتی دیگر، تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد تا جذب آب ادامه یابد. در فرآیند تنظیم اسمزی تورژسانس در شرایط تنش خشکی ادامه می‌یابد (Ashraf, 2010). از نتایج پژوهش حاضر، این گونه استنباط می‌شود که استفاده از خاک‌پوش در تمامی سطوح تنش آبی، شرایط رطوبتی گیاه را تعدیل و میزان پرولین تولیدشده را که تحت شرایط تنش به‌تنهایی افزایش چشمگیر می‌یابد، کمتر کرده است.

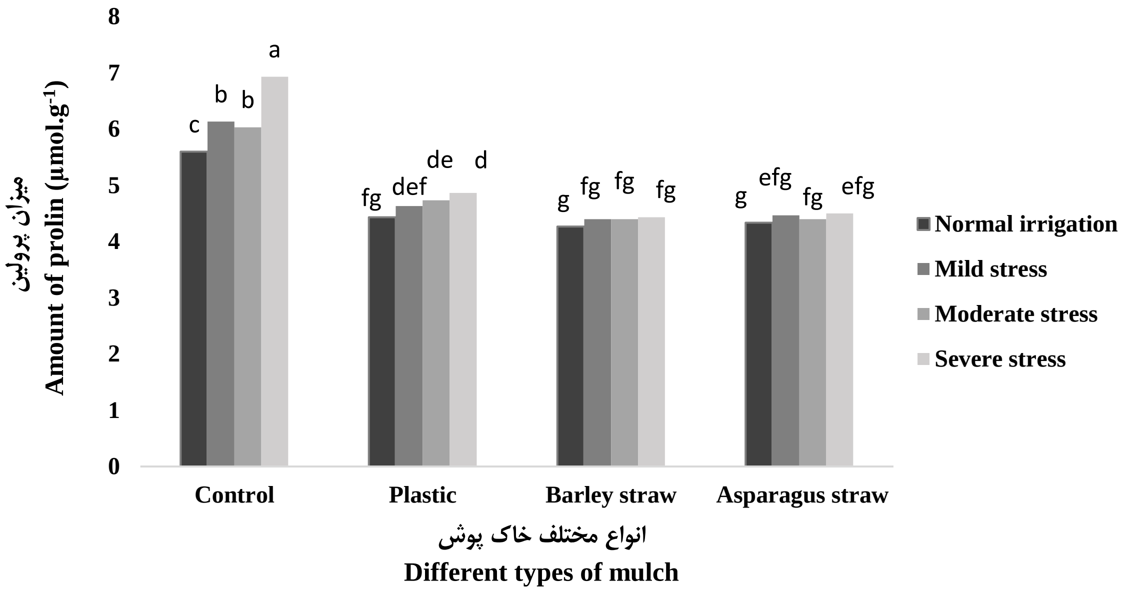
میزان کاروتنوئیدها

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی، خاک‌پوش‌های مختلف و اثر متقابل این دو فاکتور بر میزان کاروتنوئیدهای مارچوبه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، محتوای کاروتنوئیدها تحت تأثیر تنش آبی خفیف و متوسط قرار نگرفت و این صفت فقط در تنش آبی شدید کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرد (جدول ۳).



شکل ۷- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی × انواع خاک‌پوش بر میزان کلروفیل در مارچوبه

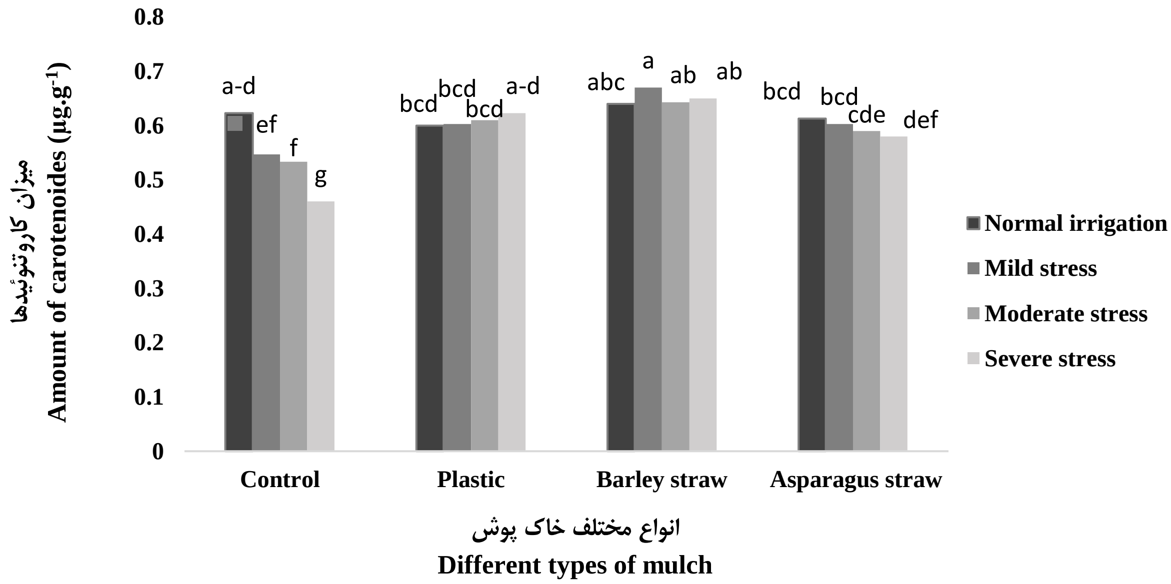
Figure 7- The interaction effcet of f drought stress ×types of mulch on the amount of chlorophyll of asparagus (LSD, $p \le 0.05$)



شکل ۸- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی × انواع خاک‌پوش بر میزان پرولین در مارچوبه

Figure 8- The interaction effect of drought stress ×types of mulch on the amount of prolin of asparagus (LSD, *p≤0.05*)

استفاده از همه انواع خاک‌پوش اثر افزایشی معنی‌داری بر میزان کاروتنوئیدها داشت که در این میان، کاه جو (با میانگین افزایش ۱۶/۸ درصد نسبت به شاهد) در رتبه نخست قرار داشت (جدول ۴). نتایج برهم‌کنش تنش آبی و خاک‌پوش نشان داد که استفاده از خاک‌پوش در شرایط بدون تنش آبی، تأثیر معنی‌داری روی محتوای کاروتنوئیدها نداشت، امّا در شرایط تنش آبی همه انواع خاک‌پوش توانستند باعث جلوگیری از کاهش معنی‌دار محتوای کاروتنوئیدها در تمامی سطوح تنش شوند (شکل ۹).



شکل ۹- برهم‌کنش سطوح مختلف تنش خشکی ×انواع خاک‌پوش بر میزان کاروتنوئیدها در مارچوبه

Figure 9- The interaction effect of drought stress ×types of mulch on the amount of carotenoids of asparagus (LSD, *p≤0.05*)

برخی محققان به تأثیر کاهشی تنش خشکی بر محتوای کاروتنوئیدهای گیاهان اشاره کرده‌اند (Ghorbanali *et al*., 2012; Zahedi *et al*., 2019). شرایط تنشی می‌تواند باعث افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در سلول شود، لذا کاهش محتوای کاروتنوئیدها

می‌تواند به‌دلیل اکسید شدن آن‌ها توسط اکسیژن فعال و آسیب به ساختار آن‌ها باشد (Follows & Boyer, 1996). بنابراین حفظ رطوبت خاک به‌دلیل استفاده از خاک‌پوش موجب جلوگیری از آسیب دیدن رنگیزه‌ها می‌شود. در این تحقیق، افزایش میزان کاروتنوئیدها در اثر کاربرد خاک‌پوش، نشان‌دهنده مؤثر بودن آن در شرایط تنش آبی است.

نتیجه‌گیری

تنش آب به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودیت فیزیولوژیک در گیاه، رشدونمو و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد ساقه تر، تعداد ساقه قابل برداشت، طول ساقه، قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه و میزان کلروفیل کل برگ در سطوح مختلف تنش آبی کاهش و میزان پرولین افزایش معنی‌داری داشت. محتوای کاروتنوئیدها نیز فقط در تنش آبی شدید کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرد. استفاده از خاک‌پوش در شرایط بدون تنش باعث افزایش معنی‌دار تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز پرولین شد، به¬طوری‌که کاه مارچوبه با ۷۶ درصد افزایش در عملکرد ساقه تر نسبت به شاهد در اولین رتبه قرار داشت و پس از آن، کاه جو و پلاستیک در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند. همچنین خاک‌پوش باعث تقلیل اثرات منفی تنش آبی بر تمامی صفات شد، به¬طوری‌که عدم کاربرد خاک‌پوش در شرایط تنش خفیف، متوسط و شدید به‌ترتیب باعث کاهش ۲۱ درصد، ۳۶ درصد و ۴۶ درصد در عملکرد ساقه تر شد، امّا کاربرد کاه مارچوبه به‌عنوان بهترین خاک-پوش در شرایط تنش خفیف، متوسط و شدید به‌ترتیب باعث کاهش ۱۰ درصد، ۱۳ درصد و ۱۶ درصد در عملکرد ساقه تر گردید. لذا توصیه می‌شود با توجه به شرایط اقلیمی کم‌باران در کشور ایران، از خاک‌پوش حاصل از بقایای گیاهی به‌ویژه کاه مارچوبه در بین ردیف-های کشت مارچوبه استفاده شود، چرا که این نوع خاک‌پوش می‌تواند باعث افزایش عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی شود و در شرایط تنش خشکی نیز عملکرد را تا حد زیادی از اثرات منفی تنش مصون نگه دارد.

Refrences

1. Alami-Milani, M., Amini, R., Dabbagh Mohammadinasab, A., Shafaghkalvanegh, J., Asgharzade, A., & Emaratpardaz, J. (2013). Yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medick.) affected by drought stress and mulch. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *5*(11), 1228-1231.
2. Amiri Rodan, M., Hassandokht, M.R., Sadeghzadeh-Ahari, D., & Mousavi, A. (2020). Mitigation of drought stress in eggplant by date straw and plastic mulches. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *19*(7), 492-498. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.09.006
3. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
4. Ashraf, M.Y., Azim, A.R., Khan, A.H., & Ala, S.A. (1994). Effect of water stress ontotal phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiologia Plantarum*, *16*, 185-191.
5. Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Biotechnology Advances*, *28*(1), 169 -183. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005
6. Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil. Short Communication*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060
7. Behzad Nejad, J., Tahmasebi Sarvestani, Z., Aien, A., & Mokhtassi Bidgoli, A. (2018). Effect of drought stress and straw mulch of wheat on morpho-physiological characteristics of sesame. *Journal of Crop Ecophysiology*, *12*(3), 393-410. (In Persian with English abstract).
8. Blaise, D., Bonde, A.N., & Chaudhary, R.S. (2005). Nutrient uptake and balance of cotton plus pigeonpea strip intercropping on rainfed vertisols of central India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *73*, 135-145. https://doi.org/10.1007/s10705-005-0073-5
9. Campi, P., Mastrorilli, M., Stellacci, A.M., Modugno, F., & Palumbo, A.D. (2019). Increasing the effective use of water in green asparagus through deficit irrigation strategies. *Agricultural Water Management*, *217*, 119-130. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.039
10. Chen, X.S., Guo, S.F., Wang, J.K. & Zhang, J. (1998). Effect of mulching cultivation with plastic film on soil microbial population and biological activity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, *9*, 435–439.
11. Drost, D., & Wilcox-Lee, D. (1997). Soil water deficits and asparagus: I. Shoot, root, and bud growth during two seasons. *Scientia Horticulturae*, *70*, 131-143. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00041-1
12. Earl, H.J., & Davis, R.F. (2003). Effect of drought stress on leaf and canopy whole radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, *95*, 688-696. https://doi.org/10.2134/agronj2003.6880
13. Follows, R.J., & Boyer, J.S., (1996). Structure and activity of chloroplast of sunflower. Leaves having various water potentials. *Planta*, *132*, 229-239. https://doi.org/10.1007/BF00399722

14. Ghanbari, M., Modares-Sanavy, S.A.M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2018). *Mulch*. Research and Innovation Center, ETKA Organization Press, Tehran, Iran. 158 pp. (In Persian).
15. Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Zanganeh, Z., & Ghanaei-Pashaki, K.M. (2021). The effect of organic mulch on morpho-physiological and biochemical characteristics of forage sorghum (*Sorghum bocolor* L.) in response to different irrigation regimes. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, *3*(1), 77-95. (In Persian with English abstract).
16. Ghorbanali, M., Bakhshi Khaniki, Gh., & Zakeri, A. (2012). Investigation on the effects of water stress on antioxidant compounds of *Linum usitatissimum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *27*(4), 647-658. (In Persian with English abstract).
17. Goel, L., Shankar, V., & Sharma, R.K. (2019). Investigations on effectiveness of wheat and rice straw mulches on moisture retention in potato crop (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, *8*, 345-356. https://doi.org/10.1007/s40093-019-00307-6
18. Grubben, G., & Denton, O. (2004). Plant resources of tropical Africa. *Nordic Journal of Botany*, *23*, 298.
19. Hamzehei, J., Abbasi, H., & Vaziri Amjad, Z. (2017). The effect of different mulches on yield, yield components of maize and weed dry weights. *Journal of Agriculture Improvement*, *19*(1), 105-117. (In Persian with English abstract).
20. Irshad, M., Ullah, F., Fahad, S., Mehmood, S., Ullah Khan, A., Brtnicky, M., Kintl, A., Holatko, J., Irshad, I., El-Sharnouby, M., El Sabagh, A., Datta, R., & Danish, S. (2021). Evaluation of *Jatropha curcas* L. leaves mulching on wheat growth and biochemical attributes under water stress. *BMC Plant Biology*, *21*(1), 303-315. https://doi.org/10.1186/s12870-021-03097-0
21. Jakse, M., & Kacjan Marsic, N. (2005). Comparison of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) cultivars and the effect of covering beds. *Acta Agriculturae Slovenica*, *85*(2), 313-320.
22. Kirigwi, F.M., Van Ginkel, M., Trethowan, R., Seaes, R.G., Rajaram, S., & Paulsen, G.M. (2004). Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica*, *135*, 361-371. https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000013375.66104.04
23. Kouchaki, A., Hoseini, M., & Hashemi Dezfooli, A. (2000). *Sustainable Agriculture*. Mashhad University, Jahad Publications, Iran. 162 pp. (In Persian).
24. Lamont, W.J., & Bartol, J.W. (2004). *Production of vegetables, strawberries, and cut flowers using plasticulture*. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES). Ithaca. 156 pp.
25. Levitt, J. (1980). *Responses of Plant Environmental Stresses*. Vol (2). Water, Radiation, Salt and other Stresses. Academic Press, New York, USA. 324 pp.
26. Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., & Jimenez, L. (2004). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *79*(5), 727-747. https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727
27. Mousavizadeh, S.J., Gil, J., Castro P., Hassandokht, M.R., & Moreno, R. (2021). Genetic diversity and phylogenetic analysis in Asian and European *Asparagus subgenus* species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *68*, 3115-3124. https://doi.org/10.1007/s10722-021-01262-w
28. Naghdi Badi, H., Qavami, N., Mehrafarin, A., & Qaderi, A. (2011). A review on garden asparagus (*Asparagus officinalis* L.) as a medicinal and multipurpose plant. *Journal of Medicinal Plants*, *10*(39), 1-13. (In Persian with English abstract).
29. Negi, J.S., Singh, P., Joshi, G.P., Rawat, M.S., & Bisht, V.K., (2010). Chemical constituents of asparagus. *Pharmacognosy Reviews*, *4*(8), 215-220. https://doi.org/10.4103/0973-7847.70921
30. Nie, L., Wang, M., & Liu, Y. (2007). Effect of different mulch methods on growth and early yield of green asparagus. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, *28*, 59-61. https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-NMGM200703016.htm
31. Niziolomski, J.C., Simmons, R.W., Rickson, R.J. & Hann, M.J. (2020). Efficacy of mulch and tillage options to reduce runoff and soil loss from asparagus interrows. *Catena*, *191*, 104557. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104557
32. Piri, H., Ansari, H., & Parsa, M. (2016). Quantitative and qualitative performance of forage sorghum at different salinity and irrigation water levels in subsurface diameter irrigation system. *Journal of Water Research in Agriculture*, *30*(4), 467-482. (In Persian with English abstract).
33. Pressman, E., Schaffer, A.A., Compton, D., & Zamski, E. (1989). The effect of low temperature and drought on the carbohydrate content of asparagus. *Journal of Plant Physiology*, *134*, 209-213. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(89)80057-4
34. Rafiee Manesh, S., Ayenehband, A., & Nabati Ahmadi, D. (2010). The effect of different levels of irrigation and withholding irrigation on grain yield and yield components of corn hybrid S.C.704 under Ahvaz condition. *Crop Physiology Journal*, *2*(7), 93-105. (In Persian with English abstract).

35. Shahriari, S., Aziz, M., Aroiee, H., & Ansari, H. (2013). Effect of different irrigation levels and mulch application on growth parameters and essential oil content of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29*(3), 568-582. (In Persian with English abstract).
36. Shahzad, K., Bary, A.I., Collins, D.P., Chalker-Scott, L., Abid, M., Sintim, H.Y. & Flury, M. (2019). Carbon dioxide and oxygen exchange at the soil-atmosphere boundary as affected by various mulch materials. *Soil and Tillage Research*, *194*, 104335. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104335
37. Short, W. (2021). *The effect of drought stress and decreasing day lengths on the acquisition of freezing tolerance in asparagus (Asparagus officinalis L.) under controlled conditions*. M.Sc. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
38. Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Troger, J., Munoz, K., Fror, O., & Schaumann, G.E. (2016). Plastic mulching in agricultura. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the Total Environment*, *550*, 690-705. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.153
39. Tan, J., Zhao, H., Hong, J., Han, Y., Li, H., & Zhao, W. (2008). Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedlings subjected to osmotic stress. *World Journal of Agricultural Sciences, 4*(3), 307-313.
40. Wilson, D.R., Sinton, S.M., & Fraser-Kevern, H.A. (1996). Irrigation response of established asparagus. *Acta Horticulturae, 415*, 333-341. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.415.47
41. Wu, X.H., Wang, W., Xie, X.L., Yin, C.N., & Hou, H.J. (2018). Effects of rice straw mulching on N_2O emissions and maize productivity in a rain-fed upland. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*, 6407-6413. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0989-8
42. Zahedi, M., Hosseini, M.S., & Karimi, M. (2019). The effects of drought stress and brassinosteroid solution spray on some morphological, physiological and biochemical characteristics of wild pear (*Pyrus biossieriana* Buhse). *Journal of Plant Process and Function, 8*(29), 181-192. (In Persian with English abstract).
43. Zinkernagel, J., & Kahlen, K. (2017). Water relations of asparagus crop under different water supply and implications for plant-based irrigation scheduling. *Acta Horticulturae*, *1150*, 385-390. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1150.54